

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-086695

(43)Date of publication of application : 31.03.1995

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

H01L 29/06

(21)Application number : 05-230040

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 16.09.1993

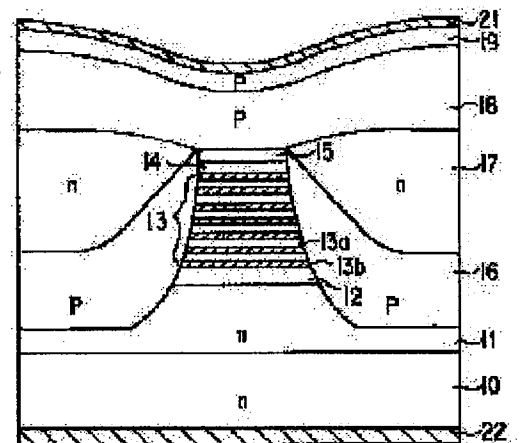
(72)Inventor : KUSHIBE MITSUHIRO
TAKAOKA KEIJI
FUNAMIZU MASAHIKA
ONOMURA MASAOKI

(54) SEMICONDUCTOR LASER DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a semiconductor laser device which is capable of reducing a threshold, and minimizing temperature dependence of device characteristics by using a GaInAs strained quantum well structure which is easy to control a wavelength.

CONSTITUTION: This invention relates to a semiconductor laser device which clamps an active layer 13 which is designed under strained quantum wall structure which laminates a GaInAsP barrier layer 13a and a GaInAs wall layer 13b with an InP clad layer 11 and a p type InP clad layer 15 and further inserts GaInAsP optical guide layers 12 and 14 between each of the clad layers 11 and 15. The active layer 13 is formed based on metal organic vapor deposition. Moreover, impurities, such as Si are added to the active layer 13 and the optical guide layer 14 where the concentration of Si is set to: $1 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ to $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$.



*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]It is the semiconductor laser device which sandwiched an active layer which consists of distortion amount child well structure of GaInAs by a cladding layer of a p type and a n type, It is at least a part of light guide layer which said active layer is formed with vapor phase growth, and was provided between said active layer or said active layer, and a p type clad layer, A semiconductor laser device which sets concentration of Si as an impurity as $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3} - 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, and is characterized by things.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application]This invention relates to the semiconductor laser device which has especially an active layer of quantum well structure with respect to the semiconductor laser device used for optical communications or information processing.

[0002]

[Description of the Prior Art]In recent years, the semiconductor laser using the various-compounds semiconductor material as light sources, such as information processing and optical communications, is developed, and the high performance-ization is desired. Especially the demand to the low threshold characteristic, the characteristic that an output change is small to temperature, and high-reliability is strong, and the research and development are done briskly.

[0003]In order to realize the semiconductor laser oscillated with a low threshold, introducing quantum well structure into an active layer is performed, and it is performed that the well layer of quantum well structure introduces the distortion amount child well structure from which a cladding layer and a grating constant differ especially in these days. In introducing distortion at an active layer in the case of the laser of a 1.5-micrometer belt, it realizes the effect of lowering a threshold by making a grating constant larger than a substrate, in many cases. In this case, as a well layer of quantum well structure, a GaInAs layer with the presentation near InAs is used compared with the case where lattice matching is being carried out.

[0004]Since threshold current density will fall if distortion amount child well structure is introduced, the quantity of the career within the quantum well which enlarges temperature dependence of a laser characteristic will be reduced, and it can expect to make change of the characteristic by temperature small. However, actually, although threshold current falls, it is becoming clear that the dependency over temperature is not necessarily small.

[0005]When width of the laser of a 1.3-micrometer belt or the well layer of quantum well structure is made large, GaInAsP with comparatively high P presentation is used for a well layer on the other hand and the laser of a 1.5-micrometer belt is produced, improving temperature characteristics easily is known. However, in such a structure, in order to use GaInAsP which contains two kinds of V group elements with high steam pressure in a well layer, there was a problem of being hard to control a presentation and an oscillation wavelength.

[0006]These problems are explained in detail below. When introducing distortion at an active layer in the case of the semiconductor laser of the 1.5-micrometer belt of a low threshold, compared with the case where lattice matching is being carried out to the substrate as a well layer, a GaInAs layer with the presentation near InAs is used in many cases. At this time, the temperature dependence of a laser characteristic cannot become small easily that threshold current density falls. Zn used into the cladding layer or the substrate is spread, and this point is considered because a deep level is formed at the same time Zn will be accumulated into a GaInAs layer with a small diffusion coefficient of Zn. Especially, since the thickness of a well layer is thin in quantum well structure, it becomes the cumulative effect of Zn is large and remarkable that influencing this problem.

[0007]On the other hand, in the field in which the n type impurity is added, the diffusion coefficient of a p type impurity becomes small. If the n type impurity is added especially at more than p type impurity

concentration, the diffusion coefficient of a p type impurity will become small. Diffusion of Zn in the inside of InP is a two-step diffusion type, in a low-concentration diffusion front, concentration is below a 10^{15} cm^{-3} grade, and concentration falls rapidly. For this reason, diffusion of Zn can be controlled as it is the concentration more than [in which the n type impurity in the inside of quantum well structure exceeded this value] fixed, and accumulation of Zn to a GaInAs layer and generating of a deep level can be reduced.

[0008]When forming the quantum well structure of an active layer, in the case of an InP system, quality crystal growth is possible at vapor phase growth, especially metal-organic chemical vapor deposition. As for impurity concentration, if GaInAs is grown up by this method, Si is the main elements, the impurity of a background serves as a n type, and it is common that below 10^{15} cm^{-3} becomes. When distortion amount child well structure is used, the GaInAs presentation of a well layer becomes close to InAs, but in the layer of such a presentation, Si is hard to be incorporated as an impurity and the Si concentration of a background will become still lower. For this reason, diffusion and accumulation of Zn take place easily.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]Thus, even if it introduced distortion amount child well structure conventionally using the GaInAs layer, when the problem that the dependency over temperature is not made small, and GaInAsP whose P presentation is still higher were used as a well layer of quantum well structure, there was a problem that the wavelength control of laser became difficult.

[0010]This invention was made in consideration of the above-mentioned situation, and the place made into the purpose has a threshold in providing the semiconductor laser device which can make temperature dependence of an element characteristic small low using the distortion amount child well structure of GaInAs with easy control of wavelength.

[0011]

[Means for Solving the Problem]In order to solve an aforementioned problem, this invention has adopted the following composition. Namely, in a semiconductor laser device with which this invention sandwiched an active layer which consists of distortion amount child well structure of GaInAs by a cladding layer of a p type and a n type, An active layer is at least a part of light guide layer which is formed with vapor phase growth and provided between an active layer or an active layer, and a p type clad layer, and set concentration of Si as an impurity as $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} - 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

[0012]Here, an atomic percentage of abbreviated $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} - 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ is the value measured by SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) in concentration of Si, and it includes an error of the factor 3. The following are raised as a desirable embodiment of this invention.

(1) A cladding layer is a layer containing InP.

(2) Use GaInAs which carried out lattice matching to a cladding layer, or GaInAs which carried out lattice mismatching to a substrate as a well layer in quantum well structure of an active layer. GaInAsP with P presentation low about a well layer may be sufficient.

(3) It is necessary to carry out with vapor phase growth in creation of quantum well structure, and use especially metal-organic chemical vapor deposition.

[0013]

[Function]In this invention, Si is positively added in the active layer of a semiconductor laser.

Therefore, diffusion of a p type impurity (for example, Zn) can be controlled now in an active layer, and it becomes possible to control accumulation of the p type impurity in the inside of quantum well structure, and generating of a deep level.

[0014]About the field which adds Si, only the well layer of quantum well structure is good, and the whole active layer is also effective in only the barrier layer of quantum well structure controlling diffusion of a p type impurity further. Even if it adds Si to the light guide layer provided between the active layer and the p type clad layer, there is an effect which controls diffusion of a p type impurity.

[0015]In embedding type laser, diffusion of a p type impurity takes place in the field of the quantum well structure of an active layer from an embedded layer especially easily to the GaInAs layer of quantum well structure. Since this diffusion takes place in along the well layer of quantum well structure, it is

difficult to control diffusion of a p type impurity by a light guide layer etc., but diffusion of such a p type impurity can be substantially controlled by applying this invention. Since Si is intentionally added also when this invention is used for the active layer of distortion amount child well structure, the concentration of Si of a well layer is high enough, and the effect of control over diffusion of a p type impurity is remarkable.

[0016]As mentioned above, as a result of being able to control diffusion of a p type impurity, even if an active layer is a GaInAs layer, the dependency over the temperature of a laser characteristic can be made small. If the concentration of Si in an active layer is too high, laser oscillation threshold current will go up, or the life of a laser device will become short, but such a problem was not generated when it was the concentration of this invention within the limits.

[0017]Since a diffusion coefficient is [that it is hard to go up the concentration of a p type impurity as the characteristic of material] also small as a well layer of the distortion amount child well structure of an active layer again when GaInAsP is used instead of GaInAs, it is hard to accumulate a p type impurity. The effect same [since the impurity concentration of the background in the case of crystal growth does not fall easily, there is also a point that there is diffusion depressor effect of a p type impurity, but] by applying this invention as GaInAs can be realized though it is small, and a grade's can improve the temperature characteristics of laser. In particular, in GaInAsP with low P presentation, since a material property is close to GaInAs, the effect shows up notably.

[0018]

[Example]Hereafter, the example of this invention is described with reference to drawings. Drawing 1 is a sectional view showing the element structure of the semiconductor laser concerning the 1st example of this invention. On n type InP substrate 10, growth formation of the n type clad layer 11, the light guide layer 12, the active layer 13, the light guide layer 14, and the p type clad layer 15 is carried out at the order of the above.

[0019]The n type clad layer 11 is n type InP of Si addition of carrier concentration 10^{18}cm^{-3} . The light guide layer 12 is n type GaInAsP (0.1-micrometer [in thickness], and band gap 1.3micrometer) of Si addition of carrier concentration 10^{17}cm^{-3} . The active layer 13 The GaInAsP barrier layer 13a (10-nm [in thickness], and band gap 1.3micrometer, seven layers) of Si addition of carrier concentration $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$, The $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{As}$ well layer 13b (nm [in thickness / 3], eight layers) of Si addition of carrier concentration $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ has distortion amount child well structure repeated by turns. The light guide layer 14 is GaInAsP (0.1-micrometer [in thickness], and band gap 1.3micrometer) of Si addition of carrier concentration 10^{16}cm^{-3} . The p type clad layer 15 is p type InP (0.5 micrometer in thickness) of Zn addition of carrier concentration 10^{18}cm^{-3} .

[0020]The upper layer has mesa structure which is about 1.5 micrometers in width from the upper part of the n type InP clad layer 11, The both sides are embedded by the p type InP layer 16 of Zn addition of carrier concentration 10^{18}cm^{-3} , and the n type InP current blocking layer 17 of Si addition of carrier concentration 10^{18}cm^{-3} . Furthermore, in the upper part. The p type $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ contact layer 19 (0.5 micrometer in thickness) of Zn addition of p type InP layer [of Zn addition of carrier concentration 10^{18}cm^{-3}] 18 and carrier concentration $5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ is formed.

[0021]And on the GaInAs contact layer 19, vacuum evaporation formation of Au-Zn / Au electrode (p lateral electrode) 21 is carried out, and vacuum evaporation formation of Au-germanium/nickel / Au electrode (n lateral electrode) 22 is carried out on the undersurface of n type InP substrate 10.

[0022]The semiconductor laser of this example set cavity length to 200 micrometers, and the reflectance of one end face gave the high reflection coat whose reflectance of the end face of another side is 90% 70% with the multilayer film of Si and SiO_2 .

[0023]The oscillation wavelength of the semiconductor laser of this example is 1.56 micrometers, and threshold current showed the value as $\eta(75^{**})/\eta(25^{**}) - 0.7$, and a laser device of such low threshold current with a big temperature change of 3 mA and slope efficiency η . It was set to $\eta(75^{**})/\eta(25^{**}) - 0.6$ in the element of the same structure that did not add to an active layer at Si.

[0024]The active layer 13 of the semiconductor laser of this example was formed by metal-organic

chemical vapor deposition. On that occasion, addition of Si was performed by having SiH_4 . Temperature of crystal growth was performed at 620–690 °C. Since the thickness of a crystal is very thin about the $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{As}$ well layer 13b, it is difficult to measure the concentration of Si in a film. on the other hand — SiH_4 — the inside of InAs — it being incorporated and efficiency at 620 °C. It was smaller than that to the inside of $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ through which it is incorporated, is smaller than efficiency about 1.5 figures, and passes among $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ and it is incorporated and efficiency is [that] into GaAs a figure single [about]. This means that SiH_4 takes and efficiency is changing exponentially to the presentation of $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x = 1$) by the surface reaction with material.

[0025]Then, when supplying SiH_4 to the $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{As}$ well layer 13b, conditions were decided noting that SiH_4 was incorporated and efficiency was changing exponentially to presentation change of GaInAs. When SiH_4 was used as a raw material, Si was incorporated, efficiency had [as opposed to / in GaInAs with a higher InAs presentation / temperature] a strong dependency, and the activation energy at this time was proportional to the solid phase presentation of $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x = 1$). Then, Si to InAs is incorporated, Si to efficiency and $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ is incorporated, Si to the temperature dependence of efficiency and material composition is incorporated, and efficiency is taken into consideration, The conditions of supply of SiH_4 were decided that the carrier concentration in the inside of the

$\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{As}$ well layer 13b serves as $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$.

[0026]Here, the range with desirable Si concentration in the active layer 13 is explained. In the semiconductor laser of this example, when n type carrier concentration of the $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{As}$ well layer 13b was made lower than $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, threshold current went up rapidly with abbreviated 3mA to 6 mA. On the other hand, when carrier concentration of the $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{As}$ well layer 13b was made higher than abbreviated $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, the threshold rose again.

[0027]The carrier concentration dependency of threshold current is shown in drawing 2. That threshold current went up when carrier concentration was lowered, Since the Si concentration in the $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{As}$ well layer 13b was lowered, abbreviated coincidence or since it became higher and diffusion of Zn increased rapidly, the Zn concentration of the first step of low concentration area of two-step diffusion of Zn and the concentration of Si are presumed.

[0028]It is considered to be the following reasons that threshold current went up on the other hand when carrier concentration was raised. In order for laser to oscillate, the carrier concentration poured in from the outside to carrier concentration with the impurity of the active layer in the active layer is high enough, and the population inversion of a career needs to be formed. However, if the impurity concentration in a well layer becomes more than abbreviated $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, when usually carrying out laser oscillation, the carrier concentration and the difference which are poured in from the outside will become small. For this reason, it is presumed that injection carrier concentration required in order to form a population inversion with the rise of the impurity concentration in a well layer rose.

[0029]The Si concentration in a distortion amount child well layer was made to be between $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ – $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ in the semiconductor laser of this invention based on such a result. Thus, according to this example, by using GaInAs which composition control tends to perform to the well layer 13b of the active layer 13 of distortion amount child well structure, even if the check of a presentation uses difficult distortion amount child well structure, an oscillation wavelength is very stable, and it was able to control to 1.56 ± 0.01 micrometers. Compared with the case where GaInAsP of 4 yuan which is a mix crystal is used for the well layer of an active layer, dispersion for every wafer was able to be stopped to about 60 percent by the quantum well laser of a similar structure.

[0030]And since Si was positively added in the active layer 13 and Si concentration is set as $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ – $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, Diffusion of the p type impurity (Zn) in the inside of the active layer 13 can be controlled, and it becomes possible to control accumulation of the p type impurity in the inside of distortion amount child well structure, and generating of a deep level. Therefore, temperature

dependence of an element characteristic can be made small with the reduction of a threshold, and the usefulness is greatest.

[0031] Drawing 3 is a sectional view showing the element structure of the semiconductor laser concerning the 2nd example of this invention. In the semiconductor laser of this example, growth formation of the p type clad layer 31, the light guide layer 32, the active layer 33, the light guide layer 34, and the n type clad layer 35 is carried out at the order of the above on p type InP substrate 30 of Zn addition of carrier concentration $4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$.

[0032] The p type clad layer 31 is p type InP (1.5 micrometers in thickness) of Zn addition of carrier concentration 10^{18}cm^{-3} . The light guide layer 32 is GaInAsP (0.2-micrometer [in thickness], and band gap 1.13micrometer) of Si addition of carrier concentration $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$. The active layer 33 The GaInAsP barrier layer 33a (6-nm [in thickness], and band gap 1.13micrometer, five layers) of Si addition of carrier concentration 10^{17}cm^{-3} . It has distortion amount child well structure which repeated the GaInAsP well layer 33b (7-nm [in thickness], and band gap 1.4micrometer, 0.6% of the degree of lattice mismatching, six layers) of Si addition of carrier concentration 10^{17}cm^{-3} by turns. The light guide layer 34 is GaInAsP (band gap 1.13micrometer) of Si addition of carrier concentration $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$. The n type clad layer 35 is n type InP of Si addition of carrier concentration $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$.

[0033] The upper layer has mesa structure which is about 1.5 micrometers in width from the upper part of the p type InP clad layer 31, p-InP layer 36a of Zn addition of the both sides of carrier concentration 10^{18}cm^{-3} . It is embedded by the n type InP current blocking layer 37 of Si addition of carrier concentration 10^{18}cm^{-3} , and the p type InP layer 36b of Zn addition of carrier concentration 10^{18}cm^{-3} . Furthermore, the $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ contact layer 39 of Si addition n type [upper part / the] (the n type InP layer 38 of Si addition of carrier concentration 10^{18}cm^{-3} and carrier concentration $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, and 0.5 micrometer in thickness) is formed.

[0034] And on the GaInAs contact layer 39, vacuum evaporation formation of Au-germanium/nickel / Au electrode (n lateral electrode) 41 is carried out, and vacuum evaporation formation of Au-Zn / Au electrode (p lateral electrode) 42 is carried out in the rear face of p type InP substrate 30.

[0035] The semiconductor laser of this example set cavity length to 200 micrometers, and the reflectance of one end face gave the high reflection coat whose reflectance of the end face of another side is 90% 70% with the multilayer film of Si and SiO_2 .

[0036] The oscillation wavelength of the semiconductor laser of this example is 1.3 micrometers, and threshold current showed the characteristic outstanding as a laser device of low threshold current which was formed on the p board as $\eta(75 **)/\eta(25 **) - 0.8$, and the laser formed on n board with same temperature change of 2.3 mA and slope efficiency η . It was set to the threshold current $\eta(75 **)/\eta(25 **) - 0.7$ as an element of the same structure that did not add to an active layer at Si. It is because it prevented being able to reduce substantially diffusion of Zn from the substrate 30 added by high concentration in this layer, and accumulation of Zn taking place into the quantum well structure of the active layer 33, since this has the carrier concentration comparatively as high as $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ in the light guide layer 32. Here, when carrier concentration in the light guide layer 32 was made into the high concentration more than $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, the life of the element fell rapidly.

[0037] This invention is not limited to each example mentioned above. In an example, although Si was added to a light guide layer, the well layer of quantum well structure, a barrier layer, and all, addition of Si has this part, besides effect to which it responded. Although Zn was used as a p type impurity in the example, also when Cd, Mg, Be, etc. are used as a p type impurity, this invention demonstrates the same effect as the case of Zn.

[0038] Although each quantum well structure explained in the example is GaInAs thru/or the GaInAsP quantum well of compressive strain, it may not have distortion or the quantum well structure of tension distortion may be sufficient as it. The application to the active layer of InAsP, etc. is also possible. Although the example explained taking the case of the usual embedding type Fabry-Perot laser, the application to the laser of mesa structure or ridge wave structure, a DFB laser, or a surface emission-type laser is also possible. In addition, in the range which does not deviate from the gist of this invention,

it can change variously and can carry out.

[0039]

[Effect of the Invention]By this invention, Si is positively added in the active layer of quantum well structure and the concentration of Si as an impurity is set as $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3} - 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ to have explained in full detail above.

Therefore, it becomes possible to control diffusion of a p type impurity (for example, Zn) in an active layer, and to control accumulation of the p type impurity in the inside of quantum well structure, and generating of a deep level.

Therefore, a threshold becomes possible [realizing the semiconductor laser device which can make temperature dependence of an element characteristic small low] using the distortion amount child well structure of GaInAs with easy control of wavelength.

[0040]This effect can be applied also to a high-output semiconductor laser, and can realize improvement in an element characteristic. When a GaInAs well layer is used, a well layer is especially a GaInAs mix crystal, when metal-organic chemical vapor deposition is used, the determination of a presentation is easy and an oscillation wavelength can be determined easily. Especially, in the semiconductor laser of an embedding type 1.5-micrometer belt, the effect of this invention is greatest.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]The sectional view showing the element structure of the semiconductor laser concerning the 1st example of this invention.

[Drawing 2]The characteristic figure showing the carrier concentration dependency of the threshold current in the 1st example.

[Drawing 3]The sectional view showing the element structure of the semiconductor laser concerning the 2nd example of this invention.

[Description of Notations]

10 — n-InP substrate 11 — n-InP cladding layer

12 — n-GaInAsP light guide layer 13 — Quantum well active layer

14 — GaInAsP light guide layer 15 — p-InP cladding layer

16 — p-InP layer 17 — n-InP current blocking layer

18 — p-InP layer 19 — p-GaInAs contact layer

21 — Au-Zn/Au electrode (p lateral electrode) 22 —Au-germanium/nickel / Au electrode (n lateral electrode)

30 — p-InP substrate 31 — p-InP cladding layer

32 — GaInAsP light guide layer 33 — Quantum well active layer

34 — GaInAsP light guide layer 35 — n-InP cladding layer

36a, 36 b—p-InP layer 37 — n-InP current blocking layer

38 — n-InP layer 39 — n-GaInAs contact layer

41 — Au-germanium/nickel/Au electrode (n lateral electrode) 42 —Au-Zn / Au electrode (p lateral electrode)

[Translation done.]

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 29/06

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平5-230040

(22) 出願日 平成5年(1993)9月16日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 榑部 光弘

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 高岡 圭児

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 船水 将久

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

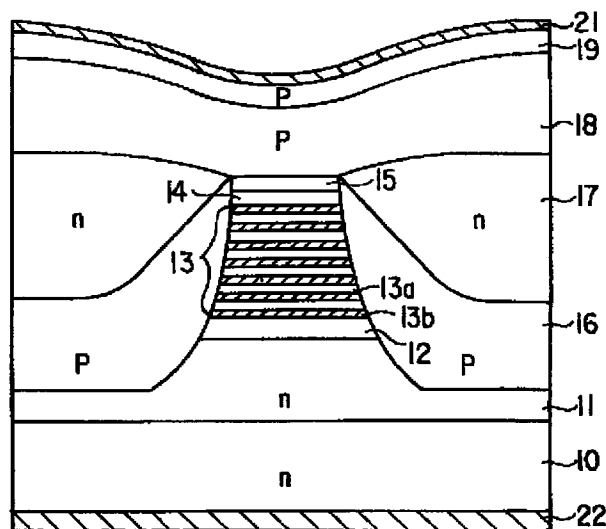
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ装置

(57) 【要約】

【目的】 波長の制御が容易なGaInAsの歪み量子井戸構造を用いて、しきい値が低く、かつ素子特性の温度依存性を小さくすることのできる半導体レーザ装置を提供することにある。

【構成】 GaInAsP障壁層13aとGaInAs井戸層13bを積層した歪み量子井戸構造からなる活性層13をn型InPクラッド層11及びp型InPクラッド層15で挟み、さらに活性層13と各クラッド層11、15との間にGaInAsP光ガイド層12、14を挿入した半導体レーザ装置において、活性層13は有機金属気相成長法で形成されており、かつ活性層13及び光ガイド層14に不純物としてSiを添加し、このSiの濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ に設定したことを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】GaInAsの歪み量子井戸構造からなる活性層をp型及びn型のクラッド層で挟んだ半導体レーザ装置であって、前記活性層は気相成長法で形成されており、かつ前記活性層又は前記活性層とp型クラッド層の間に設けられた光ガイド層の少なくとも一部で、不純物としてのSiの濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ に設定してなることを特徴とする半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光通信や情報処理に用いる半導体レーザ装置に係わり、特に量子井戸構造の活性層を有する半導体レーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、情報処理や光通信などの光源として、各種化合物半導体材料を用いた半導体レーザが開発されており、その高性能化が望まれている。特に、低しきい値特性、温度に対して出力変動の小さい特性、高信頼性に対する要求は強く、その研究開発が盛んに行われている。

【0003】低しきい値で発振する半導体レーザを実現するには、活性層に量子井戸構造を導入することが行われ、特に最近においては量子井戸構造の井戸層がクラッド層と格子定数の異なる歪み量子井戸構造を導入することが行われている。1. $5 \mu\text{m}$ 帯のレーザの場合に活性層に歪みを導入する場合には、基板よりも格子定数を大きくすることでしきい値を下げる効果を実現する場合が多い。この場合、量子井戸構造の井戸層としては、格子整合している場合に比べてInAsに組成の近いGaInAs層が用いられる。

【0004】歪み量子井戸構造を導入すると、しきい電流密度が下がるので、レーザ特性の温度依存性を大きくする量子井戸内でのキャリアの量を低減することになり、温度による特性の変動を小さくすることが期待できる。しかし、実際にはしきい電流は下がるものの、温度に対する依存性は必ずしも小さくないことが明らかになってきている。

【0005】一方、1. $3 \mu\text{m}$ 帯のレーザや量子井戸構造の井戸層の幅を広くして比較的P組成の高いGaInAsPを井戸層に用いて1. $5 \mu\text{m}$ 帯のレーザを作製した場合には、温度特性を容易に改善されることが知られている。しかし、このような構造では、井戸層に蒸気圧の高いV族元素を二種類含むGaInAsPを用いるために、組成や発振波長が制御しにくいという問題があった。

【0006】これらの問題を、以下に詳しく説明する。低しきい値の1. $5 \mu\text{m}$ 帯の半導体レーザの場合に活性層に歪みを導入する場合においては、井戸層として基板に格子整合している場合に比べてInAsに組成の近い

GaInAs層が用いられる場合が多い。このとき、しきい電流密度が下がるのに、レーザ特性の温度依存性が小さくなりにくい。この点については、クラッド層或いは基板中に用いられているZnが拡散し、Znの拡散係数の小さいGaInAs層中にZnが蓄積してしまうと同時に深いレベルが形成されるためと考えられる。特にこの問題は、量子井戸構造においては井戸層の厚さが薄いので、Znの蓄積効果が大きく、その影響が顕著となる。

10 【0007】一方、n型の不純物が添加されている領域ではp型不純物の拡散係数が小さくなる。特に、p型の不純物濃度以上にn型の不純物が添加されていると、p型不純物の拡散係数は小さくなる。InP中でのZnの拡散は2段拡散型であり、低濃度の拡散フロントは濃度が 10^{15} cm^{-3} 程度以下で急激に濃度が下がる。このため、量子井戸構造中でのn型不純物がこの値を越えた一定以上の濃度であるとZnの拡散が抑制でき、GaInAs層へのZnの蓄積や深いレベルの発生を低減することができる。

20 【0008】活性層の量子井戸構造を形成する際にはInP系の場合、気相成長法、特に有機金属気相成長法で高品質の結晶の成長が可能である。この方法でGaInAsを成長すると、バックグラウンドの不純物はSiが最も主要な元素であり、n型となり、不純物濃度は 10^{15} cm^{-3} 以下となるのが普通である。また、歪み量子井戸構造を用いた場合には井戸層のGaInAs組成がInAsに近くなるが、このような組成の層ではSiが不純物として取り込まれにくく、バックグラウンドのSi濃度は更に低いものとなる。このため、Znの拡散及び蓄積が起こり易くなる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、GaInAs層を用いて歪み量子井戸構造を導入しても、温度に対する依存性が小さくできないという問題、さらにはP組成の高いGaInAsPを量子井戸構造の井戸層として用いるとレーザの波長制御が難しくなるという問題があった。

【0010】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、波長の制御が容易なGaInAsの歪み量子井戸構造を用いて、しきい値が低くかつ素子特性の温度依存性を小さくすることのできる半導体レーザ装置を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は次のような構成を採用している。即ち本発明は、GaInAsの歪み量子井戸構造からなる活性層をp型及びn型のクラッド層で挟んだ半導体レーザ装置において、活性層は気相成長法で形成されており、かつ活性層又は活性層とp型クラッド層の間に設けられた光ガイド層の少なくとも一部で、不純物としてのSiの濃

度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ に設定したことを特徴とする。

【0012】ここで、Siの濃度が略 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の原子濃度というのは、SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) により測定した値であり、ファクター3の誤差を含んでいる。また、本発明の望ましい実施態様としては、次のものがあげられる。

- (1) クラッド層はInPを含む層である。
- (2) 活性層の量子井戸構造の中の井戸層としては、クラッド層に格子整合したGaInAs、又は基板と格子不整合したGaInAsを用いること。井戸層についてはP組成の低いGaInAsPでもよい。
- (3) 量子井戸構造の作成にあたっては気相成長法で行う必要があり、特に有機金属気相成長法を用いる。

【0013】

【作用】本発明によれば、半導体レーザの活性層中にSiを積極的に添加することにより、活性層中でp型不純物(例えばZn)の拡散が抑制できるようになり、量子井戸構造中でのp型不純物の蓄積及び深いレベルの発生を抑制することが可能となる。

【0014】Siを添加する領域については、活性層全体でも量子井戸構造の井戸層のみでもよく、さらに量子井戸構造の障壁層のみでもp型不純物の拡散を抑制する効果がある。また、活性層とp型クラッド層の間に設けた光ガイド層にSiを添加しても、p型不純物の拡散を抑制する効果がある。

【0015】特に埋め込み型のレーザにおいては、量子井戸構造のGaInAs層に対して、埋め込み層から活性層の量子井戸構造の面にp型不純物の拡散が起きやすい。この拡散は量子井戸構造の井戸層沿いに起きるので、光ガイド層等によってp型不純物の拡散を抑制することは難しいが、本発明を適用することでこのようなp型不純物の拡散を大幅に抑制できるようになる。また、歪み量子井戸構造の活性層に本発明を用いた場合にも、意図的にSiを添加しているので、井戸層のSiの濃度が十分高く、p型不純物の拡散に対する抑制の効果が顕著である。

【0016】以上のように、p型不純物の拡散を抑制できた結果、活性層がGaInAs層であっても、レーザ特性の温度に対する依存性を小さくすることができる。活性層中のSiの濃度が高すぎると、レーザ発振しきい電流が上がったり、レーザ素子の寿命が短くなったりしてしまうが、本発明の範囲内の濃度であれば、このような問題は発生しなかった。

【0017】また、活性層の歪み量子井戸構造の井戸層として、GaInAsの代わりにGaInAsPを用いた場合、材料の特性としてp型不純物の濃度が上がりにくくまた拡散係数も小さいので、p型不純物を蓄積しにくい。また、結晶成長の際のバックグラウンドの不純物

濃度が下がりにくいのでp型不純物の拡散抑制効果があるといった点もあるが、本発明を適用することでGaInAsと同じ様な効果が、程度は小さいながら実現でき、レーザの温度特性を向上することができる。特に、P組成の低いGaInAsPの場合には材料特性がGaInAsに近いのでその効果が顕著に現れる。

【0018】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。図1は、本発明の第1の実施例に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図である。n型InP基板10上に、n型クラッド層11、光ガイド層12、活性層13、光ガイド層14及びp型クラッド層15が、上記順に成長形成されている。

【0019】n型クラッド層11は、キャリア濃度 10^{18} cm^{-3} のSi添加のn型InPである。光ガイド層12は、キャリア濃度 10^{17} cm^{-3} のSi添加のn型GaInAsP(厚さ $0.1 \mu\text{m}$ 、バンドギャップ $1.3 \mu\text{m}$)である。活性層13は、キャリア濃度 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ のSi添加のGaInAsP障壁層13a(厚さ 10 nm 、バンドギャップ $1.3 \mu\text{m}$ 、7層)と、キャリア濃度 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ のSi添加の $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{As}$ 井戸層13b(厚さ 3 nm 、8層)とが交互に繰り返された歪み量子井戸構造となっている。光ガイド層14は、キャリア濃度 10^{16} cm^{-3} のSi添加のGaInAsP(厚さ $0.1 \mu\text{m}$ 、バンドギャップ $1.3 \mu\text{m}$)である。また、p型クラッド層15は、キャリア濃度 10^{18} cm^{-3} のZn添加のp型InP(厚さ $0.5 \mu\text{m}$)である。

【0020】n型InPクラッド層11の上部より上層が幅約 $1.5 \mu\text{m}$ のメサ構造になっており、その両側がキャリア濃度 10^{18} cm^{-3} のZn添加のp型InP層16及びキャリア濃度 10^{18} cm^{-3} のSi添加のn型InP電流阻止層17で埋め込まれている。さらにその上部には、キャリア濃度 10^{18} cm^{-3} のZn添加のp型InP層18及びキャリア濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のZn添加のp型の $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ コンタクト層19(厚さ $0.5 \mu\text{m}$)が形成されている。

【0021】そして、GaInAsコンタクト層19上にはAu-Zn/Au電極(p側電極)21が蒸着形成され、n型InP基板10の下面にはAu-Ge/Ni/Au電極(n側電極)22が蒸着形成されている。

【0022】本実施例の半導体レーザは共振器長を $200 \mu\text{m}$ とし、Siと SiO_2 の多層膜により、一方の端面の反射率が70%、他方の端面の反射率が90%の高反射コートを施した。

【0023】本実施例の半導体レーザの発振波長は $1.56 \mu\text{m}$ で、しきい電流は 3 mA 、スロープ効率 η の温度変動は $\eta(75^\circ\text{C})/\eta(25^\circ\text{C}) \sim 0.7$ と、このような低しきい電流のレーザ素子としては大きな値を示した。活性層にSiに添加を行わなかった同様な構造の

素子においては、 η (75℃) / η (25℃) ~ 0.6 となった。

【0024】本実施例の半導体レーザの活性層13は有機金属気相成長法で形成した。その際に、Siの添加はSiH₄をもって行った。結晶成長の温度は620～690℃で行った。Ga_{0.35}In_{0.65}As井戸層13bについては結晶の厚さが極めて薄いので、膜中のSiの濃度を測定することが難しい。一方、SiH₄についてはInAs中への取り込まれ効率は620℃では、Ga_{0.47}In_{0.53}As中への取り込まれ効率より約1.5桁小さく、Ga_{0.47}In_{0.53}As中への取り込まれ効率はGaAs中へのそれよりも約1桁小さかった。このことは、SiH₄の取り込まれが材料との表面反応でGa_{1-x}In_xAs (0 ≤ x = 1)の組成に対して、指数関数的に変化していることを意味している。

【0025】そこで、Ga_{0.35}In_{0.65}As井戸層13bにSiH₄を供給するときの条件はSiH₄の取り込まれ効率がGaInAsの組成変化に対して指数関数的に変化しているとして決めた。原料としてSiH₄を用いたとき、Siの取り込まれ効率はInAs組成の20 高いGaInAsほど温度に対して強い依存性を持ち、このときの活性化エネルギーはGa_{1-x}In_xAs (0 ≤ x = 1)の固相組成に比例した。そこで、InAsへのSiの取り込まれ効率、Ga_{0.47}In_{0.53}AsへのSiの取り込まれ効率の温度依存性、及び材料組成に対するSiの取り込まれ効率を勘案して、Ga_{0.35}In_{0.65}As井戸層13b中でのキャリア濃度が5 × 10¹⁶ cm⁻³となるようにSiH₄の供給条件を決めた。

【0026】ここで、活性層13中のSi濃度の望ましい範囲について説明する。本実施例の半導体レーザにおいて、Ga_{0.35}In_{0.65}As井戸層13bのnタイプの30 キャリア濃度を1 × 10¹⁶ cm⁻³より低くすると、しきい電流が略3mAから6mAと急激に上昇した。一方、Ga_{0.35}In_{0.65}As井戸層13bのキャリア濃度を略5 × 10¹⁷ cm⁻³より高くすると、再びしきい値が上昇した。

【0027】しきい電流のキャリア濃度依存性を図2に示す。キャリア濃度を下げた時にしきい電流が上昇したのは、Ga_{0.35}In_{0.65}As井戸層13b中のSi濃度を下げたために、Znの二段階拡散の一段目の低濃度領域のZn濃度とSiの濃度が略一致或いはより高くなり、Znの拡散が急激に増大したためと推定される。

【0028】一方、キャリア濃度を上げた時にしきい電流が上昇したのは、以下のような理由と考えられる。レーザが発振するためには活性層中で活性層の不純物によりキャリア濃度に対して外部から注入されたキャリア濃度が十分高く、キャリアの反転分布が形成される必要がある。ところが、井戸層中の不純物濃度が略5 × 10¹⁷ cm⁻³以上となると、通常レーザ発振するときに外部から注入されるキャリア濃度と差が小さくなる。このた

め、井戸層中の不純物濃度の上昇に伴い反転分布を形成するために必要な注入キャリア濃度が上昇したと推定される。

【0029】このような結果に基づき本発明の半導体レーザにおいては、歪み量子井戸層中のSi濃度を1 × 10¹⁶ cm⁻³ \sim 5 × 10¹⁷ cm⁻³の間にあるようにした。このように本実施例によれば、歪み量子井戸構造の活性層13の井戸層13bに組成制御の行い易いGaInAsを用いることにより、組成の確認が難しい歪み量子井戸構造を用いても発振波長が極めて安定であり、1.56 ± 0.01 μmに制御することができた。類似の構造の量子井戸レーザで活性層の井戸層に四元混晶であるGaInAsPを用いた場合に比べてウェハー毎のばらつきを約6割程度に抑えることができた。

【0030】しかも、活性層13中にSiを積極的に添加し、Si濃度を1 × 10¹⁶ cm⁻³ \sim 5 × 10¹⁷ cm⁻³に設定しているので、活性層13中でのp型不純物(Zn)の拡散を抑制することができ、歪み量子井戸構造中でのp型不純物の蓄積及び深いレベルの発生を抑制することが可能となる。従って、しきい値の低減化と共に素子特性の温度依存性を小さくすることができ、その有用性は絶大である。

【0031】図3は、本発明の第2の実施例に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図である。本実施例の半導体レーザにおいては、キャリア濃度4 × 10¹⁸ cm⁻³のZn添加のp型InP基板30の上に、p型クラッド層31、光ガイド層32、活性層33、光ガイド層34及びn型クラッド層35が、上記順に成長形成されている。

【0032】p型クラッド層31は、キャリア濃度10¹⁸ cm⁻³のZn添加のp型InP (厚さ1.5 μm)である。光ガイド層32は、キャリア濃度5 × 10¹⁷ cm⁻³のSi添加のGaInAsP (厚さ0.2 μm, バンドギャップ1.13 μm)である。活性層33は、キャリア濃度10¹⁷ cm⁻³のSi添加のGaInAsP障壁層33a (厚さ6 nm, バンドギャップ1.13 μm, 5層)と、キャリア濃度10¹⁷ cm⁻³のSi添加のGaInAsP井戸層33b (厚さ7 nm, バンドギャップ1.4 μm, 格子不整合度0.6%, 6層)とを、交互に繰り返した歪み量子井戸構造となっている。光ガイド層34は、キャリア濃度5 × 10¹⁷ cm⁻³のSi添加のGaInAsP (バンドギャップ1.13 μm)である。また、n型クラッド層35は、キャリア濃度5 × 10¹⁸ cm⁻³のSi添加のn型InPである。

【0033】p型InPクラッド層31の上部より上層が幅約1.5 μmのメサ構造になっており、その両側がキャリア濃度10¹⁸ cm⁻³のZn添加のp-InP層36a、キャリア濃度10¹⁸ cm⁻³のSi添加のn型InP電流阻止層37、キャリア濃度10¹⁸ cm⁻³のZn添加のp型InP層36bで埋め込まれている。さらにそ

7
 の上部は、キャリア濃度 10^{18} cm^{-3} の Si 添加の n 型 InP 層 38 及びキャリア濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.5 \mu\text{m}$ の Si 添加 n 型の $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ コンタクト層 39 が形成されている。

【0034】そして、GaInAs コンタクト層 39 上には Au-Ge/Ni/Au 電極 (n 側電極) 41 が蒸着形成され、p 型 InP 基板 30 の裏面には Au-Zn/Au 電極 (p 側電極) 42 が蒸着形成されている。

【0035】本実施例の半導体レーザは共振器長を $200 \mu\text{m}$ とし、Si と SiO_2 の多層膜により、一方の端面の反射率が 70%、他方の端面の反射率が 90% の高反射コートを施した。

【0036】本実施例の半導体レーザの発振波長は $1.3 \mu\text{m}$ で、しきい電流は 2.3 mA 、スロープ効率 η の温度変動は $\eta(75^\circ\text{C})/\eta(25^\circ\text{C}) \sim 0.8$ と n 基板上に形成したレーザと同様の p 基板上に形成したような低しきい電流のレーザ素子としては優れた特性を示した。活性層に Si に添加を行わなかった同様な構造の素子としては、しきい電流 $\eta(75^\circ\text{C})/\eta(25^\circ\text{C}) \sim 0.7$ となった。これは、光ガイド層 32 中のキャリア濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ と比較的高いために、高濃度に添加された基板 30 からの Zn の拡散をこの層で大幅に低減でき、活性層 33 の量子井戸構造の中に Zn の蓄積が起こることを防ぐことができたためである。ここで、光ガイド層 32 中のキャリア濃度を $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高い濃度とすると素子の寿命が急激に低下した。

【0037】なお、本発明は上述した各実施例に限定されるものではない。実施例では、光ガイド層、量子井戸構造の井戸層、障壁層、いずれにも Si の添加を行ったが、Si の添加はこの一部分だけでもそれに応じた効果がある。また、実施例では p 型の不純物として Zn を用いたが、Cd, Mg, Be 等を p 型の不純物として用いた場合にも本発明は Zn の場合と同様の効果を発揮する。

【0038】また、実施例で説明した量子井戸構造はいずれも圧縮歪みの GaInAs ないし GaInAsP 量子井戸であるが、歪みが無くても、引張り歪みの量子井戸構造でもよい。さらに、InAsP の活性層等への適用も可能である。また、実施例では通常の埋め込み型のファブリペローレーザを例にとり説明したが、メサ構造やリッジウェーブ構造のレーザ、DFB レーザや面発光レーザへの応用も可能である。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0039】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、量子井戸構造の活性層中に Si を積極的に添加し、不純物

8
 としての Si の濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ に設定することにより、活性層中で p 型不純物 (例えば Zn) の拡散を抑制して、量子井戸構造中での p 型不純物の蓄積及び深いレベルの発生を抑制することが可能となる。従って、波長の制御が容易な GaInAs の歪み量子井戸構造を用いて、しきい値が低くかつ素子特性の温度依存性を小さくすることのできる半導体レーザ装置を実現することが可能となる。

【0040】またこの効果は高出力の半導体レーザにも適用可能であり、素子特性の向上を実現できる。さらに、GaInAs 井戸層を用いた場合には、井戸層が GaInAs 混晶であり特に有機金属気相成長法を用いた場合には組成の決定が容易であり発振波長が容易に決定できる。特に、埋め込み型の $1.5 \mu\text{m}$ 帯の半導体レーザにおいて本発明の効果は絶大である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

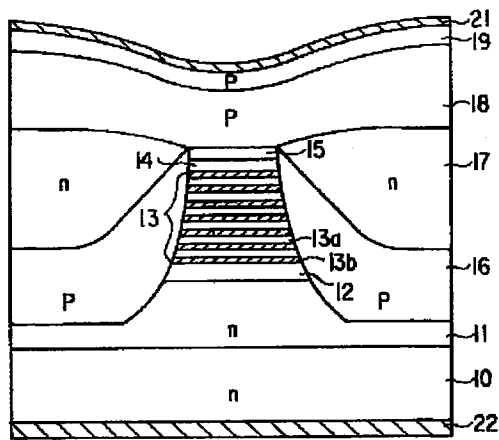
【図2】第1の実施例におけるしきい電流のキャリア濃度依存性を示す特性図。

【図3】本発明の第2の実施例に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

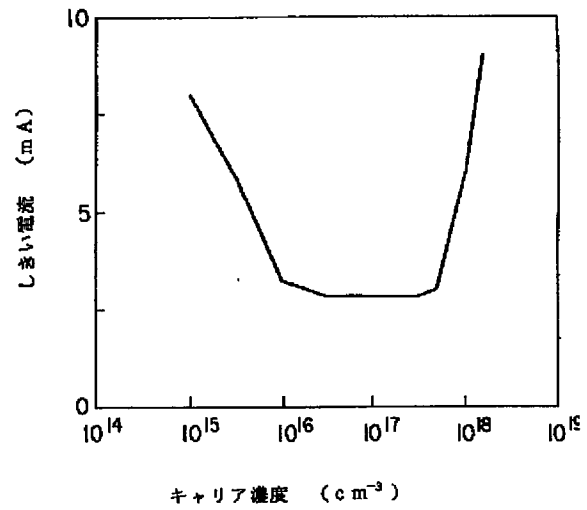
【符号の説明】

10...n-InP 基板	11...n-InP クラッド層
12...n-GaInAsP 光ガイド層	13...量子井戸活性層
14...GaInAsP 光ガイド層	15...p-InP クラッド層
16...p-InP 層	17...n-InP 電流阻止層
18...p-InP 層	19...p-GaInAs コンタクト層
21...Au-Zn/Au 電極 (p 側電極)	22...Au-Ge/Ni/Au 電極 (n 側電極)
30...p-InP 基板	31...p-InP クラッド層
32...GaInAsP 光ガイド層	33...量子井戸活性層
34...GaInAsP 光ガイド層	35...n-InP クラッド層
36a, 36b...p-InP 層	37...n-InP 電流阻止層
38...n-InP 層	39...n-GaInAs コンタクト層
41...Au-Ge/Ni/Au 電極 (n 側電極)	42...Au-Zn/Au 電極 (p 側電極)

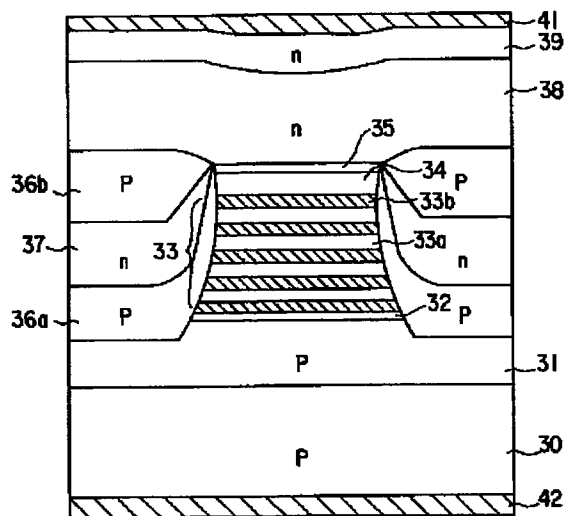
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

(72)発明者 小野村 正明
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
 式会社東芝研究開発センター内